视觉中国供图

北京冬奥会这样打造『最快的冰』

◎实习记者 孙 瑜

“带动三亿人参与冰雪运动”的北京冬奥会正进行得如火如荼。2月5日，由武大靖、任子威、范可新、曲春雨组成的中国短道速滑团队夺得北京冬奥会短道速滑混合团体2000米接力赛冠军，拿下中国队本届冬奥会的首金。

首金的产生被誉为“最快的冰遇见最亮的星”。

快而滑的冰面一直是冬奥会比赛最重要的运动舞台之一。除了短道速滑，还有不少冬奥比赛项目都需要在冰面上展开激烈竞技，如速度滑冰、花样滑冰、冰壶、冰球等。

这一片“冰天雪地”与大自然的冰雪十分不同。它不仅是影响比赛成绩的关键因素，也关系到运动员的竞技安全。制作冬奥会比赛用冰，过程复杂、标准严苛，而且这片冰下，还“隐藏”着许多的科技成果。

不同赛事要用不同的冰

自然界中，水在低于0℃的环境下就会结冰。然而，“冬奥冰”的制成却并非如此简单。它不仅要做到形成时间快、表面光滑，还需满足不同比赛项目对冰面温度、厚度等的不同需求。

那么，冬奥会不同冰上项目所需的冰有何不同？

中国队本届冬奥会首金项目短道速滑需要“最快的冰”，这就要求冰面厚度为3厘米到5厘米、冰面温度为-7℃至-6℃。

短道速滑被称为“短道”，其冰道每圈为111.12米。与其相比，被称为“大道”的速度滑冰，冰道周长要长得多，为400米。所以，“大道”要求冰面厚度在2.5厘米到3厘米，理想冰面温度为-9℃至-5℃。

被誉为“冰上舞蹈”的花样滑冰对冰面厚度要求为6厘米到7厘米、冰面温度要求为-4℃至-3℃。为了美观，运动员还会穿着比较轻便、闪亮的服装，所以室温还要营造出温暖如春的感觉。

除了滑冰，冬奥会赛场上还有冰球、冰壶等冰上项目，它们对“冬奥冰”也提出了不同的要求。

冰球与冰壶比赛要求冰面温度在-6℃，而且要求冰面极为平整。在冰壶比赛中，冰面1毫米的平坦度偏差，都会对冰壶的走向产生很大影响，进而影响选手的发挥。在国家体育馆冰球项目比赛场地上，1800平方米的冰面要求为一个水平面，误差不得超过0.5毫米，此次冬奥会的中国制冰团队，更是力争将误差控制在0.1毫米—0.2毫米。

冬奥不同比赛用冰要求不同温度、厚度，归根结底是因为各项比赛需要不同硬度的冰。冰面温度、厚度将影响冰面的硬度，从而影响运动员的发挥。

以花样滑冰为例，如果冰面温度太低，运动员起跳、下落时，冰面就容易崩裂；如果温度高了，冰面就会变软，运动员就会感觉冰刀“拔不出来”，影响起跳。速度型的短道速滑等项目，对于冰温要求更低，这样冰面会更硬，能给运动员提供更好的力度支撑，也便于提速。

打造“冬奥冰”有这些门道

为了满足冬奥会各个比赛项目的用冰需求，中国的制冰团队铆足劲儿，早早开始了准备。

通常来说，制冰过程由制作基础冰、喷白漆、粘贴标识并画线、制作表面冰等步骤构成。在开始制冰前，还要进行深度的地板清洁，在地板预冷12小时—18小时之后，即可开始制作基础冰。

制作基础冰可视为“打地基”环节，其中保证基础冰的平整极其重要。如果没有让基础冰和混凝土地面完全贴合，运动员踩上去后可能会导致冰开裂。因而，基础冰需要制冰师用喷棒均匀地把水洒在赛场的每一个点上，制成约2厘米厚的冰层。

铺完基础冰后的赛场，还不是观众所熟悉的“奶白色”冰场。这是因为制冰师还未完成喷白漆的工作。通过向基础冰层喷白漆，原本透出混凝土地面颜色的冰就会变成更好看的奶白色。

等白漆固定后，制冰师粘贴标识并按照比例将称好的油漆与软水进行混合，开始画线工作，画线的位置和宽度都需要符合国际冰联标准要求。

完成粘贴标识和画线后，便可开始制作厚度约为3厘米的表面冰。最后用扫冰车打磨、找平，制冰工作才算真正完成。与此同时，还要满足任意3平方米内的冰面最大高度差不能超过2毫米的平整度要求。

如果是制作冰壶赛道，还需制冰师进行“打点”工作，即在冰面上喷洒纯净水，形成均匀的冰粒，并用扫冰机将赛道刮出需要的高度和形状。

在制冰环节中，保证精准度是一大难点。例如，制冰师需要在制冰管上浇水，使水冻成冰，形成一整块冰面。在这个过程中，如果制冰师浇水时步伐速度不一致，就容易造成冰面冻结后厚度不一致。因此，制冰师在制作冰面时，既有时限要求，又需精准控制。

这意味着制冰是个“体力活”。“脏活累活比较多，工具很重，冰场很冷。有时候，要在-6℃的冰面上连续工作16到18个小时。”北京冬奥会冰壶场地制冰师张芷源说。

科技加持保障比赛用冰

除了“体力活”，制冰工作还有不少科技成果加持的“技术活”。

北京冬奥会首次采用了清洁低碳的二氧化碳跨临界直冷制冰技术。这是目前世界上最环保的制冰技术，碳排放趋近于零，有助于打造出最快、最环保的冰面。相较于传统的制冰技术，它不仅将能效提升了20%以上，冰面温差可控制在0.5℃以内，制成的冰也更加均匀，不会出现各个部位温度不一样、冰面硬度不均匀的情况。

北京大学教授、国际天然工质研究领域知名专家张信荣认为，二氧化碳跨临界直冷制冰技术具有安全性高、能耗和运行成本低、环境友好等优点，且全部热量可回收利用，是冰上场馆能源系统中最有前景的工质之一，可使场馆能源系统冷热一体化高效运行，在全球范围内都具有广阔的应用前景。

国际单项体育组织专家曾建议采用国际惯用的环保制冰技术，但中国团队经过1年半的摸索，决定选择二氧化碳跨临界直冷制冰技术。

二氧化碳跨临界直冷制冰，就是将气态二氧化碳通过加温加压形成超临界二氧化碳流体，再对超临界二氧化碳流体进行降温降压达到-20℃至-15℃，再相变蒸发吸热完成制冷和制冰的过程。

国家速滑馆“冰丝带”是全球首个采用二氧化碳跨临界直冷制冰技术的冬奥会赛场。在“冰丝带”里，1.2万平方米晶莹剔透的冰面为世界观众展现了精彩绝伦的竞技场景。

此外，监测系统也是冰上项目的得力“助手”。昔日的“水立方”、如今的“冰立方”场馆的工作人员，就特意为冰壶赛场建立了一套“健康监测”系统，包含加速传感器、应变传感器、环境温度传感器等，不仅能监测结构的变形、震动，还能监测环境温度和整体结构倾角，对结构的安全性和比赛舒适度进行实时评估。

智能建筑管理系统也为冬奥赛场贡献了科技力量。

冰立方场馆运营部责任工程师、国际制冰师助理张金泉表示，冰壶比赛对赛场环境要求严苛，现场的温度必须按照冰面温度、冰面以上1.5米高度温度、看台温度3层控制，每层的温度控制都要达到高精度。“冰立方”升级了智能建筑管理系统，增加了除湿功能，以确保赛场的冰面质量。

（资料来源：科技日报、上海发布、北京发布、文汇报、国际在线等）

延伸阅读

来点“冷”知识，看看“冬奥冰”的进化史

◎实习记者 孙 瑜

1924年，第一届冬奥会在法国小镇夏蒙尼举办。

位于勃朗峰脚下的夏蒙尼平均海拔1050米，是全欧洲有名的滑雪胜地，也是当时法国唯一一个可以坐火车直接抵达的滑雪小镇。

为了迎接冬奥盛事，东道主夏蒙尼新建了一个冰场，供滑冰和冰球比赛使用，其他项目在原有的自然场地进行。

然而，天公不作美。冬奥会举办前一个月，一场“当地居民有生以来从未见过的大雪”让滑冰场积雪厚达一米多。组委会不得不组织人马来清理冰面上的积雪。在工作即将完成时，气温又突然回升，连续多天的降雨把冰场浇成了湖面。幸好，最终冷空气抵达，挽救了整个大会。

从此，如何用“智慧”保障赛场这片“冰天雪地”成为冬奥会主办城市思虑的首要问题。

1960年，第八届冬奥会在美国斯阔谷召开。这届冬奥会首次使用人工造冰技术来保障冬奥会用冰，由一个冷冻厂为滑冰馆提供比赛用冰并进行冰面维护，人们开始摆脱对自然冰的依赖。

时间转瞬来到1988年。举办第十五届冬奥会的加拿大城市卡尔加里，热闹非凡。这届冬奥会堪称科技造冰的典范——建造了世界上首个有400米速滑跑道的全封闭滑冰场，将所有滑冰比赛安排在室内进行。

这个全封闭滑冰场位于卡尔加里大学校园内。它是一座有着银白色屋顶的圆形建筑，可进行自然采光。在一个采访视频中，这座滑冰场的管理者，也是冰面建造师之一的资深制冰师马克·麦瑟说，制冰师采用多台机器观测温度、湿度等环境因素对冰的影响，从而打造出那时“最快的冰”。

许多世界纪录留在了这座滑冰场的冰面上。从此，“最快的冰”成为冬奥会制冰的追求目标。

2002年，美国盐湖城冬奥会的滑冰场令不少参赛运动员赞不绝口。由于得天独厚的条件，这座高原冰场帮助运动员创下诸多佳绩，有9项速度滑冰冬奥纪录被打破。2019年，国际滑联世界杯速滑总决赛期间，运动员也在这里刷新了6项世界纪录。

2022年北京冬奥会也瞄准了“最快的冰”。在申办冬奥会成功后，中国就开始了制冰“黑科技”的准备过程，不仅邀请马克·麦瑟加盟打造“最快的冰”，更是采用了二氧化碳制冰技术，开创了“最环保的冰”。

（资料来源：北京日报、新华社、央视网、中国档案等）

冰为什么那么滑？

◎实习记者 孙 瑜

正在进行中的北京冬奥会让世界人民大饱眼福。短道速滑紧张刺激，运动员在弯道超越时的身姿可谓风驰电掣；花样滑冰高贵优雅，运动员在冰面起舞，“翩若惊鸿，婉若游龙”……

这一切的基础都离不开光滑的冰面。然而，冰为什么那么滑？

这个看起来再普通不过的现象，却困扰了科学家多年。

根据人们的生活经验，让物体变滑，油、蜡、水等润滑剂是最佳利器。它可以降低物体间的摩擦。而冰面之所以能够那么滑，正是因为有水作为天然润滑剂。当我们进行冰上活动时，实际上是站在冰最上面一层具有流动性的水膜上。

可是，这层水膜是从哪里来的？

19世纪50年代，科学家詹姆斯·汤普森提出，如果给冰施加压力，冰的熔点就会降低。也就是说，“冰在压力下会融化”。爱尔兰物理学家约翰·乔利将这个规律与滑冰联系起来，认为当人站在冰面上时，身体对冰面产生的压强会使冰的熔点低于0℃，让冰的表面融化，形成一层具有润滑作用的水膜，使冰面变滑。如果穿上有薄薄冰刀的滑冰鞋，那么施加在冰上的压强会更大，冰的熔点就会下降得更多，从而使得穿着冰鞋的运动员可以在冰面上肆意滑行。

然而，这个假说也有站不住脚的地方。

据计算，穿着冰鞋的成年人会给冰表面施加超过标准大气压400多倍的压强，能使冰的熔点降到-3.5℃。可是，在冬奥会比赛中，短道速滑、速度滑冰等项目的冰面温度甚至低于-5℃，单纯依靠压强并不会使冰面融化。更不用说东北地区户外气温甚至可以达到零下几十摄氏度。依据这个假说，东北的冰面应该难以融化形成水膜，也就很难在上面滑行了。

可事实并非如此。

1939年，来自英国剑桥大学的两位科学家弗兰克·鲍登和T·P·休斯提出，冰表面的水膜是因为摩擦生热导致冰融化的结果。他们认为，滑冰时冰刀与冰面的快速摩擦产生的热量可能是冰面融化形成水膜的主要原因。

可惜，后来人们证明，摩擦产生的水膜厚度明显小于冰面本身较为粗糙部分的厚度。这说明摩擦产生的水膜甚至不能填满冰层表面的“小水坑”，也就无法提供有效润滑作用。同时，摩擦生热产生水膜的说法也无法解释很多人在冰面上没有剧烈运动产生摩擦仍然因为冰面很滑而摔倒的现象。

随后，新的假说出现了：冰的表面会不会本身就存在一层水膜？

1987年，科学家通过X射线成像技术发现，冰面上应该存在一层非常薄的水分子层，厚度约在100纳米量级。这一发现证实了冰的表面确实存在着一层准液体。

当水结冰时，每一个水分子都会通过氢键抓住其周围的水分子，形成晶体结构。但是表层的水分子周围缺少其他水分子，因此没有办法形成如冰块内部那般规则的结构，只能杂乱无序地“游荡”在冰表面。一些研究团队甚至模拟出了水分子是如何在冰表面“游荡”的。

一项发表于《自然》杂志的研究显示，科学家通过设计一种可以“听”的测力仪，能够测量这层准液体的力学特性，并从微观角度探讨冰为什么滑。这套测力仪由类似音叉的装置和毫米大小的玻璃珠构成。在实验中，玻璃珠会像一个小冰刀一样，以几十微米的距离尺度在同一区域的冰面上滑行。用来振动的音叉上附有一个加速器，可以测量玻璃珠的振荡振幅，从而计算出玻璃珠和冰之间的摩擦系数。

最终，科学家发现这层准液体并非简单的水，而是水和微小碎冰的混合物。它像油一样黏稠，具有黏弹性。科学家认为，这正是冰为什么滑的秘密源头。

当然，冰上竞技运动中，冰刀的存在也让运动员如虎添翼。我国科学家发现，水膜中的微小碎冰充当了轴承滚珠的角色。当运动员脚踏冰刀飞速滑过时，冰刀产生的压强作用使得这些微小碎冰像珠子一样被捏爆，释放出来的液态水增加了原本的水膜厚度，使冰变得更加滑。

（资料来源：新华网、中科院物理所公众号、《科学世界》杂志等）